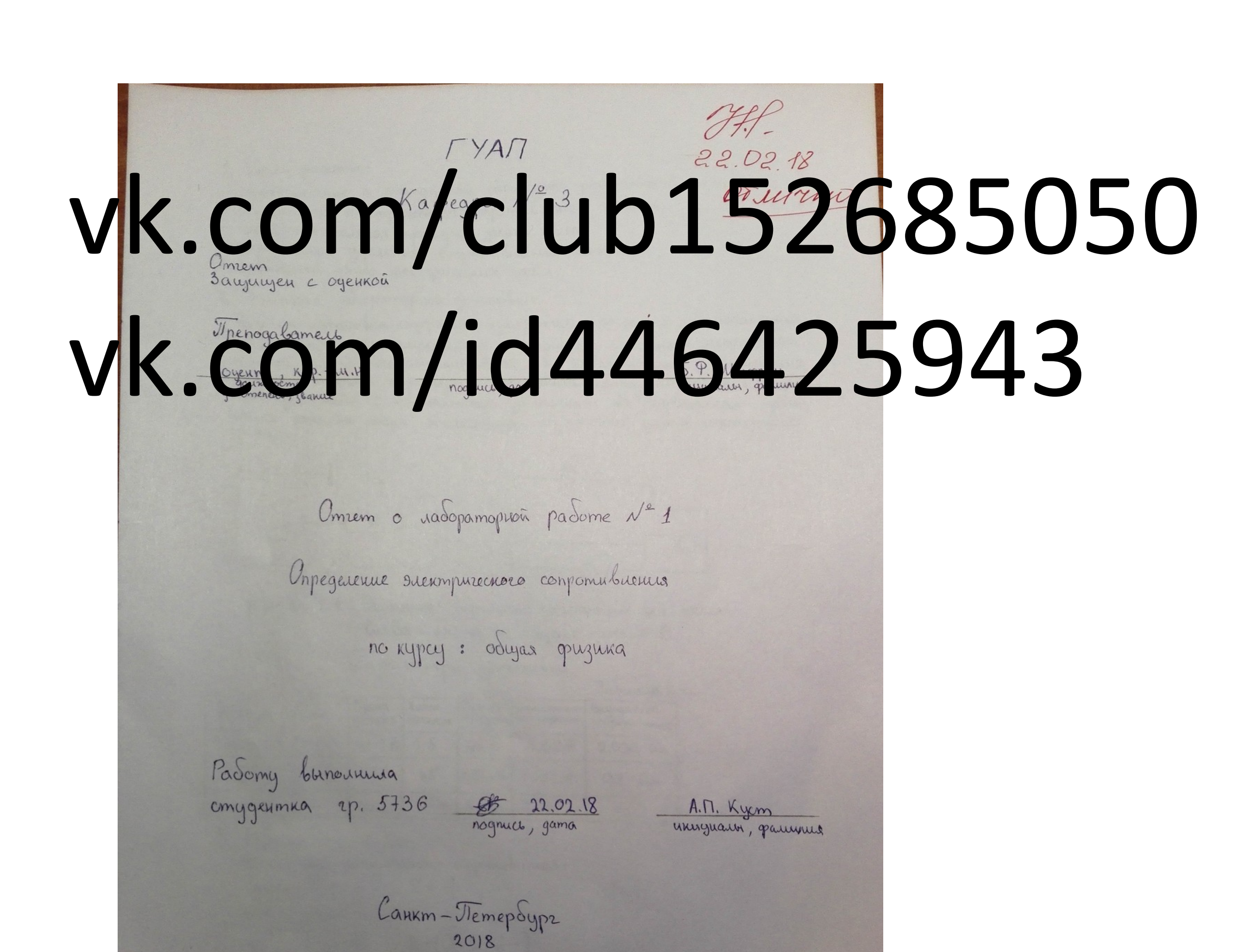


ГУАП

Кафедра № 3

22.02.18

Отчет
защищен с оценкой

Преподаватель

должность, уч. степень, звание | подпись, дата | инициалы, фамилия

Отчет о лабораторной работе № 1

Определение электрического сопротивления

по курсу: общая физика

Работу выполнила
студентка гр. 5736 | 22.02.18 | А.П. Кут
подпись, дата | инициалы, фамилия

Санкт-Петербург
2018

Определение электрического сопротивления

Студент группы № 5736 А.П. Куст
Преподаватель Б.Ф. Шифрин

Определение сопротивления провода

Параметры приборов

1)

Прибор	Тип	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность	
Вольтметр	М93	1,5 В	0,05 В	1,5	0,02 В	сопротив. 2500 Ом
Миллиамперметр	М93	250 мА	5 мА	1,5	4 мА	сопрот. 0,2 Ом
Линейка		50 см	1 мм	—	2 мм	

l = 43 см = 0,43 м

2) Схема А

U	0,35	0,40	0,50	0,60	0,80	1,10	1,30
I	0,063	0,074	0,090	0,109	0,144	0,195	0,230

Схема В

U	0,35	0,40	0,50	0,65	0,75	0,90	1,05
I	0,066	0,076	0,095	0,124	0,141	0,166	0,195

8.02.18 (Шифрин)

1. Цель работы:

— ознакомление с методикой обработки результатов измерений;
— определение электрического сопротивления провода;
— экспериментальная проверка закона Ома;
— определение удельного сопротивления нихрома;
— сравнение двух электрических схем.

2. Описание лабораторной установки.

Рабочая установка содержит измерительную часть, включающую вольтметр, миллиамперметр и стойку с нанесённой метрической шкалой. На стойке смонтированы два неподвижных кронштейна, между которыми натянут исследуемый провод, и третий подвижный кронштейн с контактным зажимом. На подвижном кронштейне нанесена риска, облегчающая определение длины исследуемого провода.

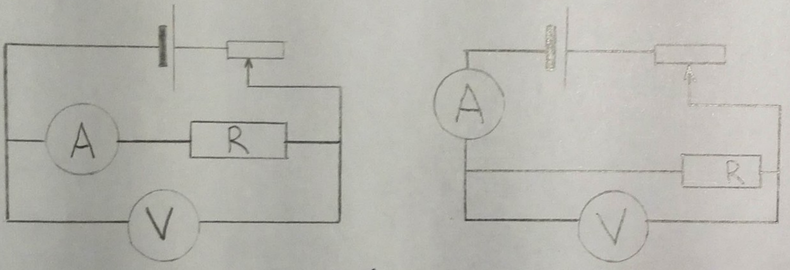


рисунок 2.1. Различные варианты измерительных схем. Слева – схема A, справа – схема B.

Параметры установки

Таблица 2.1.

Прибор	Тип	Цена деления	Класс точности	Предел измерений	Систематическая погрешность	Внутреннее сопротивление
Вольтметр	М93	0,05 В	1,5	1,5 В	0,02 В	2500 Ом
Миллиамперметр	М93	5 мА	1,5	250 мА	0,004 А	0,2 Ом
Линейка	—	1 мм	—	50 см	0,002 м	—

3. Рабочие формулы.

Вычисления электрического сопротивления:

Закон Ома $R = \frac{U}{I}$, (3.1)

для схемы A $R = \frac{U}{I} - R_A$, (3.2)

для схемы B $R = \left(\frac{I}{U} - \frac{1}{R_V}\right)^{-1}$. (3.3)

В этих формулах R – электрическое сопротивление проводника, U – падение напряжения на проводнике, I – сила тока в проводнике, R_A – сопротивление амперметра, R_V – сопротивление вольтметра.

$$R_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n}, \qquad (3.4)$$

$$\rho = \frac{R_{ср} \pi D^2}{4l}, \qquad (3.5)$$

где $R_{ср}$ – среднее значение сопротивления, n – число измерений, ρ – удельное сопротивление металла, l – длина провода, D – диаметр провода.

4. Результаты измерений и вычислений.

Схема А — Таблица 4.1.

U, В	0,35	0,40	0,50	0,60	0,80	1,10	1,30
I, A	0,063	0,074	0,090	0,109	0,144	0,195	0,230
U/I, Ом	5,55	5,40	5,55	5,50	5,55	5,60	5,65
R, Ом	5,35	5,2	5,35	5,3	5,35	5,4	5,45
θ_R, Ом	0,6	0,54	0,45	0,40	0,30	0,20	0,20

Схема В — Таблица 4.2.

U, В	0,35	0,40	0,50	0,65	0,75	0,90	1,05
I, A	0,066	0,076	0,095	0,124	0,141	0,166	0,195
U/I, Ом	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,4
R, Ом	5,3	5,3	5,3	5,35	5,4	5,5	5,4
θ_R, Ом	0,62	0,54	0,44	0,34	0,3	0,26	0,2

$R_{ср} = 5,35$ Ом ; $\rho = 1,63 \cdot 10^{-6}$ Ом·м

5. Примеры вычислений.

По формуле (3.1) $R = \frac{U}{I} = \frac{0,35}{0,063} = 5,55$ (Ом)

По формуле (3.2) $R = \frac{U}{I} - R_A = \frac{0,35}{0,063} - 0,2 = 5,35$ (Ом)

По формуле (3.3) $R = \left(\frac{I}{U} - \frac{1}{R_V}\right)^{-1} = \left(\frac{0,066}{0,35} - \frac{1}{2500}\right)^{-1} = 5,3$ (Ом)

По формуле (3.4) $R_{ср} = \frac{5,35+5,2+5,35+5,3+5,35+5,44+5,45+5,31+5,27}{14} +$

$+ \frac{5,35+5,4+5,5+5,4}{14} = 5,35$ (Ом)

По формуле (3.5) $\rho = \frac{R_{ср} \pi D^2}{4L} = \frac{5,35 \cdot 3,14 \cdot (0,36 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 0,43} =$

$= 1,26 \cdot 10^{-6}$ (Ом·м)

6. Вычисление погрешностей

6.1. Систематические погрешности

$\Theta_I = \frac{I_m K_I}{100} = \frac{0,25 \cdot 1,5}{100} = 3,75 \cdot 10^{-3} \approx 0,004$ (А). (6.1.1)

$\Theta_u = \frac{U_m K_u}{100} = \frac{1,5 \cdot 1,5}{100} = 0,0225 \approx 0,02$ (В). (6.1.2)

$\Theta_L = 2 \cdot 10^{-3}$ м (6.1.3)

$\Theta_D = 0,5 \cdot 10^{-5}$ м (6.1.4)

6.1.5. Вывод формулы для систематической погрешности косвенного измерения электрического сопротивления.

$R = R(U, I) = \frac{U}{I}$; $\Longrightarrow$ $\Theta_R = R\left(\frac{\Theta_u}{U} + \frac{\Theta_I}{I}\right)$.

Вычисления по выведенной формуле:
пример из схемы А:

$\Theta_{R_1} = R_1 \cdot \left(\frac{\Theta_u}{U_1} + \frac{\Theta_I}{I_1}\right) = 5,35 \cdot \left(\frac{0,02}{0,35} + \frac{0,004}{0,063}\right) = 0,64 \approx 0,6$ (Ом).

$\Theta_{R_7} = R_7 \cdot \left(\frac{\Theta_u}{U_7} + \frac{\Theta_I}{I_7}\right) = 5,45 \cdot \left(\frac{0,02}{1,3} + \frac{0,004}{0,23}\right) = 0,17 \approx 0,2$ (Ом)

В качестве систематической погрешности итогового результата берем значение, полученное при самом большом токе $\Theta_{R_{ср}} = 0,2$ (Ом).

6.1.6. Вывод формулы для систематической погрешности удельного сопротивления метала.

$\rho = \frac{R_{ср} \pi D^2}{4L}$; $\rho = \rho(R_{ср}, L, D)$; $\Theta_\rho = \rho\left(\frac{\Theta_{\bar{R}}}{\bar{R}} + \frac{\Theta_L}{L} + 2\frac{\Theta_D}{D}\right)$.

Вычисления по выведенной формуле:

$\Theta_\rho = \rho\left(\frac{\Theta_{\bar{R}}}{\bar{R}} + \frac{\Theta_L}{L} + 2\frac{\Theta_D}{D}\right) = 1,26 \cdot 10^{-6}\left(\frac{0,2}{5,35} + \frac{0,002}{0,43} + \frac{0,01 \cdot 10^{-3}}{0,36 \cdot 10^{-3}}\right) =$

$= 1,26 \cdot 10^{-6}(0,04 + 0,004 + 0,027) = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 0,071 = 0,09 \cdot 10^{-6}$ (Ом·м)

6.2. Случайные погрешности.

6.2.1. Средняя квадратичная погрешность отдельного измерения

$$S_R = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \ldots + (R_N - R_{cp})^2}{N-1}};$$

$$S_R = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \ldots + (R_{14} - R_{cp})^2}{14-1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(5,35-5,35)^2 + (5,2-5,35)^2 + (5,35-5,35)^2 + (5,3-5,35)^2 + (5,4-5,35)^2 + \ldots + (5,5-5,35)^2 + (5,4-5,35)^2}{13}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,045 + 0,0175 + 0,01}{13}} = \sqrt{\frac{0,0725}{13}} = 0,07 \text{ (Ом)}$$

6.2.2. Среднее квадратичное отклонение

$$S_{R_{cp}} = \frac{S_R}{\sqrt{N}} = \frac{0,07}{\sqrt{14}} = 0,019 \approx 0,02 \text{ (Ом)}$$

В данной работе проводится измерение неслучайных по своей природе физических величин: электрического сопротивления провода – R и удельного сопротивления нихрома – ρ, поэтому, проверяем неравенства

$$S_R \leq \Theta_R ; \quad S_{R_{cp}} < \Theta_R .$$

0,07 Ом ≤ 0,2 Ом, т.е. $S_R < \Theta_R$

0,02 Ом ≪ 0,2 Ом, т.е. $S_{R_{cp}} \ll \Theta_R$.

Получившиеся неравенства говорят о том, что в измерениях, скорее всего, нет грубых ошибок и промахов.

6.2.3. Случайные погрешности удельного сопротивления:

$$\rho = \frac{R_{cp} \pi D^2}{4L}, \Rightarrow S_{\bar{\rho}} = S_{R_{cp}} \frac{\pi D^2}{4L} = \frac{R_{cp} \pi D^2}{4L} \cdot \frac{S_{R_{cp}}}{R_{cp}}, \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S_{\bar{\rho}} = \frac{\rho S_{R_{cp}}}{R_{cp}} = \frac{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 0,02}{5,35} = 0,0047 \cdot 10^{-6} \approx$$

$$\approx 0,005 \cdot 10^{-6} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

6.3. Полная погрешность.

В случае, когда измеряются неслучайные по своей природе физические величины, случайные погрешности уже учтены в систематических. Полная погрешность равна систематической погрешности.

$$\Delta R = \Theta_R = 0,2 \text{ Ом}.$$

$$\Delta \rho = \Theta_\rho = 0,09 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

7. Выводы.

- Ознакомилась с методикой обработки результатов косвенных измерений.
- Электрическое сопротивление провода $R = 5,35 \pm 0,2$ Ом с вероятностью $P = 95\%$.
- Удельное сопротивление нихрома $\rho = (1,16 \pm 0,09) \cdot 10^{-6}$ Ом·м с вероятностью $P = 95\%$.
- Экспериментально определенное значение ρ в пределах погрешности совпадает с табличным значением нихрома $\rho_{таб} = 1,05 \cdot 10^{-6}$ Ом·м
- Из проведенных опытов видно, что каждое сопротивление в таблицах 4.1, 4.2 отличаются от $R_{ср}$ меньше, чем на систематическую погрешность θ_R. Это обозначает, что электрическое сопротивление не зависит от протекающего тока и от падения напряжения на нем, т.е. справедлив закон Ома.
- Учет сопротивления амперметра приводит к поправке 0,2 Ом, учет сопротивления вольтметра приводит к поправке 0,02 Ом. Поскольку результат приходится округлять до десятых долей Ома, поправку на сопротивление вольтметра по формуле (3.3) можно не делать. Значит, для схемы В электрическое сопротивление можно вычислять по закону Ома без поправок.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с методикой обработки результатов измерений; определение электрического сопротивления; экспериментальная проверка закона Ома; определение удельного сопротивления нихрома.

Теоретические сведения

Напряжением или *разностью потенциалов* между двумя точками электрического поля называется отношение работы сил Кулона по переносу заряда из первой точки во вторую к величине перенесенного заряда:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}. \quad (1.1)$$

Падением напряжения на проводнике называется напряжение между его концами. В международной системе единиц (СИ) электрический заряд измеряется в кулонах (Кл), а напряжение – в вольтах (В).

1 В = 1 Дж/Кл.

Прибор, измеряющий напряжение, называется *вольтметром*. В элек трических схемах он обозначается символом (V) .

Силой тока или просто *током* называется отношение заряда, протекшего по проводнику, ко времени его протекания:

$$I = \frac{q}{t}. \quad (1.2)$$

Написанная формула применима лишь для вычисления постоянного, т.е. неизменного во времени, тока. Для вычисления тока, меняющегося со временем, нужно пользоваться другой формулой:

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (1.2а)$$

В международной системе единиц (СИ) ток измеряется в амперах (А)

1 Кл = 1 А·с.

Прибор, измеряющий силу тока, называется *амперметром*. В электрических схемах он обозначается символом (А).

Из *закона Ома для участка цепи* следует, что отношение падения напряжения на проводнике к силе тока в нем есть величина постоянная, называемая электрическим сопротивлением.

$$R = \frac{U}{I} = \text{const}. \qquad (1.3)$$

Электрическое сопротивление проводника (резистора) не зависит от падения напряжения на нем и от величины протекающего по нему тока. Сопротивление зависит лишь от формы и размеров проводника, а также от свойств материала, из которого он изготовлен. Для тонкого длинного проводника справедливо соотношение:

$$R = \rho\frac{\ell}{S}. \qquad (1.4)$$

В этой формуле ℓ – длина проводника, S – площадь его поперечного сечения, а ρ – удельное сопротивление материала.

В международной системе единиц (СИ) электрическое сопротивление измеряется в омах (Ом).

1 Ом = 1 В / 1 А.

Сопротивление проводников, соединенных последовательно, можно рассчитать по формуле:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N. \qquad (1.5)$$

Для вычисления сопротивления параллельно соединенных проводников нужно пользоваться другой формулой:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}. \qquad (1.6)$$

Электроизмерительные приборы – амперметр и вольтметр – имеют свои собственные внутренние сопротивления, поэтому, будучи включенными в электрическую цепь, они изменяют сопротивление этой цепи или ее отдельных участков и таким образом влияют на показания друг друга. Для того, чтобы измерить силу тока в проводнике и падение напряжения на нем, амперметр нужно подключить к исследуемому проводнику последовательно, а вольтметр – параллельно. Таким образом, для внесения ми-

нимальных искажений в электрическую цепь, сопротивление амперметра должно быть как можно меньше, а вольтметра – как можно больше. Однако, это условие удается соблюсти не всегда, поэтому приходится учитывать падение напряжения на амперметре и ток через вольтметр.

Лабораторная установка

Для определения неизвестного сопротивления необходимо измерить силу тока, текущего через проводник, и падение напряжения на нем. Для этого можно использовать одну из схем, приведенных на рис. 1.1. При помощи амперметра можно измерить ток через резистор I, при помощи вольтметра падение напряжения на нем U; по этим данным при помощи формулы (1.3) можно рассчитать электрическое сопротивление. В случае, когда для сопротивлений амперметра R_A, резистора R и вольтметра R_V справедливо неравенство $R_A << R << R_V$, обе эти схемы одинаково пригодны для решения поставленной задачи.

Если сопротивление R оказывается сравнимым с сопротивлением амперметра R_A или вольтметра R_V, то желательно, а иногда просто необходимо, учитывать падение напряжения на амперметре (в схеме A) или ток через вольтметр (в схеме B). Уточненные формулы, учитывающие поправки на внутренние сопротивления измерительных приборов, записываются следующим образом:

для схемы A
$$R = \frac{U}{I} - R_A, \qquad (1.7)$$

для схемы B
$$\frac{1}{R} = \frac{I}{U} - \frac{1}{R_V}. \qquad (1.8)$$

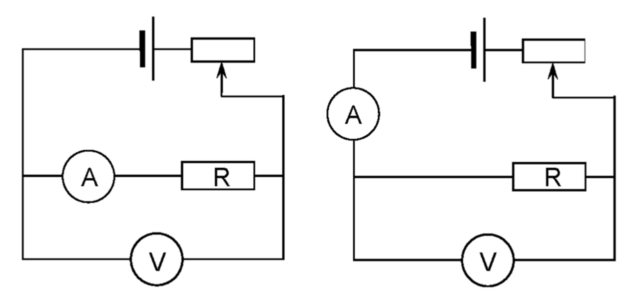


Рис. 1.1. Различные вариаты измерительных схем.
Слева – схема А, справа – схема В

Рабочая установка содержит измерительную часть, включающую вольтметр, миллиамперметр и стойку с нанесенной метрической шкалой. На стойке смонтированы два неподвижных кронштейна, между которыми натянут исследуемый провод, и третий подвижный кронштейн с контактным зажимом. На подвижном кронштейне нанесена риска, облегчающая определение длины исследуемого провода.

На лицевую панель выведены кнопка Вкл./Выкл., шкалы вольтметра и миллиамперметра, ручка регулировки напряжения источника, кнопка переключения схем $A \leftrightarrow B$ и другие кнопки.

Параметры установки:

сопротивление вольтметра $R_V = 2500$ Ом,

сопротивление амперметра $R_A = 0{,}2$ Ом,

диаметр провода $D = 0{,}36$ мм, (если не указан на приборе),

длина провода $l = [5–50]$ см, (задается преподавателем)

Задания и порядок их выполнения

Прежде чем приступить к выполнению работы обязательно нужно ознакомиться с лабораторной установкой:

разобраться, как переключаются схемы A и B;

определить цену деления амперметра и вольтметра, научиться снимать отсчет с приборов;

определить границы, в пределах которых может меняться ток и напряжение;

разобраться, как устанавливается необходимая длина провода;

рассчитать систематические погрешности приборов, систематическую погрешность длины провода принять $\theta_l = 2$ мм;

составить таблицу технических характеристик приборов.

Таблица 1.1

Технические характеристики приборов

Прибор	Цена деления	Предел измерения	Класс точности	Систематическая погрешность	Внутреннее сопротивление
Миллиамперметр					
Вольтметр					
Линейка					

Студенту предлагается выполнить одно или несколько из приведенных ниже заданий. Задание №1 является стандартным опытом в этой работе. Оно обязательно выполняется каждым студентом и является основой для выполнения следующих более сложных заданий.

Задание 1. Измерение электрического сопротивления провода.

Включить указанную преподавателем схему (A или B).

Установить заданную преподавателем длину провода.

Снять показания амперметра и вольтметра при различных токах и напряжениях 7–10 раз. Измерения следует проводить таким образом, чтобы первое значение было получено при минимально возможном токе, последнее при максимально возможном, остальные при различных промежуточных значениях.

Вычислить отношения U_i/I_i для каждого измерения i.

Вычислить уточненные по формулам (1.7) или (1.8) значения R_i.

Для нескольких значений R_i по указанию преподавателя вычислить систематическую погрешность θ_R. Если никаких указаний не получено, то вычислить погрешности для всех значений.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу. Для каждой электрической схемы и каждой длины провода заполнить свою таблицу.

Таблица 1.2

Результаты измерений и вычислений

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В										
I, мА										
U/I, Ом										
R, Ом										
θ_R, Ом										

Величина в четвёртой строке вычисляется по формуле (1.3), величина в пятой строке – по формуле (1.7) или (1.8). Формула, по которой вычисляется величина θ_R в шестой строке, выводится

самостоятельно – так же, как в примере 1 вводной части настоящего пособия или как в приложении 4.

Провести статистическую обработку серии величин R_i (пятая строка табл. 1.2). Найти среднее значение $\overline{R}$ и среднее квадратичное отклонение $S_{\overline{R}}$. *Обработку надо проводить по данным сразу двух таблиц, т.е. для 20 значений.*

Убедиться, что все полученные значения R_i в каждой из таблиц близки среднему. Это значит: каждое из 20 значений должно отличаться от среднего значения не больше, чем на θ_{Ri}, стоящее под ним строкой ниже.

Этот факт должен стать подтверждением закона Ома.

Считать измеряемую величину неслучайной по своей природе, поэтому полную погрешность Δ_R принять равной систематической θ_R, вычисленной при самом большом значении тока. Случайную погрешность $S_{\overline{R}}$ нужно сравнить с этим значением.

Задание 2. Изучение различных схем включения приборов.

Провести измерения сопротивления для одной и той же длины провода при помощи разных схем (см. задание 1).

Сравнить средние значения электрических сопротивлений, полученные на разных схемах и ответить на вопрос, допустимы ли расхождения между ними. Дать мотивированное заключение о предпочтительности одной из приведенных электрических схем.

Предпочтение следует отдать той схеме, для которой сопротивление можно вычислять, не учитывая поправок на внутренние сопротивления приборов. Этот критерий основан на соображении удобства; электрическое сопротивление обычно рассчитывают без учета этих поправок, т.е. просто по формуле (1.3).

Задание 3. Изучение зависимости сопротивления от его длины.

Провести несколько серий измерений с разными длинами провода (см. задание 1). Сравнить получившиеся сопротивления.

Построить график и объяснить зависимость $R(\ell)$ (рис. 1.2).

Прямую линию нужно обязательно провести через начало координат и все полученные в эксперименте «крестики». Если она проходит мимо одного или нескольких из них, то либо она проведена неверно, либо при измерениях допущена грубая ошибка – «промах».

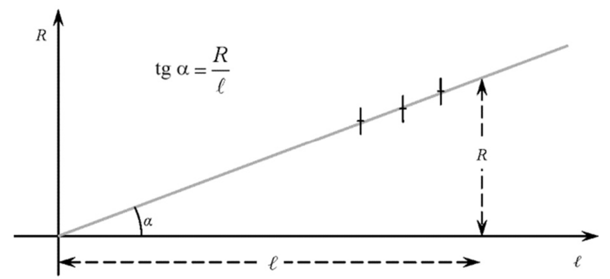


Рис. 1.2. График зависимости сопротивления от его длины

По найденному значению R, зная длину провода ℓ и его диаметр D, можно найти удельное сопротивление по формуле

$$\rho = \frac{\pi D^2 R}{4\ell}. \quad (1.9)$$

Среднее значение удельного сопротивления можно найти либо проведя статистическую обработку значений, вычисленных по (1.9), либо графически по катетам получившегося на рисунке треугольника.

$$\rho = \frac{\pi D^2 \mathrm{tg}\alpha}{4}. \quad (1.10)$$

Систематическую погрешность удельного сопротивления $\theta\ \rho$ вычислить для самой большой из имеющихся длин провода. Систематическую погрешность диаметра провода считать $\theta_D = 0{,}005$ мм.

Найти удельное сопротивление металла по указанию преподавателя: графически или статистически; оценить случайную, систематическую и полную погрешности полученного значения.

Сравнить получившийся результат с табличным значением удельного сопротивления нихрома – $\rho_{\text{T}} = 1{,}05 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

Контрольные вопросы

1. Что называется электрическим током, падением напряжения, электрическим сопротивлением?
2. Как нужно включать в электрическую схему амперметр и как – вольтметр?

3. Каким образом нужно учитывать внутренние сопротивления приборов при измерении сопротивления образца?

4. При измерении каких электрических сопротивлений удобнее пользоваться схемой A и каких – схемой B?

5. Зависит ли систематическая погрешность сопротивления от того, на какой схеме проводились измерения?

6. Почему точность измерения электрического сопротивления возрастает с увеличением напряжения, приложенного к образцу?

7. В каком случае можно говорить, что экспериментальные данные подтверждают закон Ома и в каком – нельзя?

8. В каком случае значения сопротивлений, полученные при помощи разных схем, можно объединять (усреднять) и в каком – нельзя?

9. В каком случае по экспериментальной зависимости $R(\ell)$ можно получить значение удельного сопротивления и в каком – нельзя?